中文文本熟悉性在词切分和词汇识别中的作用

陈茗静 王永胜 赵冰洁 李馨 白学军

(教育部人文社会科学重点研究基地天津师范大学心理与行为研究院; 天津师范大学心理学部, 天津 300387)

摘要 基于 E-Z 读者模型和中文阅读的整合模型，词切分和词汇识别是否属于交互作用的统一过程存在争议。通过转换阅读方向来操纵文本熟悉性，研究其在词切分和词汇识别中的作用。实验 1 考察中文文本熟悉性和词间空格促进作用之间的权衡。使用 Eyelink1000 记录 40 名大学生在中文阅读中的眼动特征。结果发现：词间空格对中文阅读的促进作用在阅读训练后消失，表明中文阅读中文本熟悉性和词间空格的促进作用之间存在权衡。实验 2 操纵文本熟悉性和词频来探究文本熟悉性在词汇识别中的作用，结果发现：文本熟悉性和词频在早期指标上的交互作用；阅读训练和词频不存在交互作用，表明文本熟悉性影响词汇识别的早期加工阶段。研究结果表明中文阅读的词切分和词汇识别可能是顺序加工，支持 E-Z 读者模型。

关键词 文本熟悉性，词间空格，词频，词切分，词汇识别

[1] 收稿日期: 2021-12-18

*基金：教育部“长江学者奖励计划”特聘教授项目(T2017120)

通信作者：白学军, E-mail: bxuejun@126.com，王永胜，E-mail: lsr_psy@126.com。

1 问题提出

中文是具有正字法规则的意音文字，每个汉字对应一个语素。其独特的文字特点让读者可以从不同文本方向进行阅读，包括从右到左和从上到下(Chung et al., 2017)。现代中文默认文本方向是从左向右，而希伯来语和阿拉伯语，默认文本方向是从右向左，和现代中文默认方向相反(Deutsch & Rayner, 1999)。那么，在阅读陌生文本时（例如，阿拉伯语读者阅读现代中文)，读者会如何加工陌生文本的语言？陌生和熟悉文本下阅读加工是否存在差异？随着文本熟悉性变化，阅读表现是否会变化？这对阅读研究有重要的启示意义。基于此，中文文本熟悉性一直是阅读领域的研究热点(Li et al., 2016; Ma et al., 2019; Wang, 2015; Yan et al., 2019; Yin et al., 2021)。此外，中文的词切分机制也具有独特性，不同于英语等拼音文字，其文本不包含内在的词间空间作为词边界标记，所以中文读者需要从文本中切出独立的词。无论中文还是拼音文字，阅读加工的基本独立单元都是单词，词汇识别是读者的首要任务(Rayner, 2009; Rayner et al., 1998; Inhoff et al., 2000; Li et al., 2009; Perea & Acha, 2009)。

读者的眼动特征可以灵敏反映阅读过程的加工特点。多种眼动模型用于解释阅读加工机制，包括 SWIFT, SHARE, Glenmore, EMMA, SERIF, Mr. Chips 和竞争激活模型(Yang, 2006)，其中 E-Z 读者模型(E-Z Reader model)最具影响力(Rayner, 2009)。E-Z 读者模型作为一种计算模型，具有高度透明性，既可以解释阅读中眼动的整体特征，也能精准预测眼动轨迹。然而中文文本中不含词间空格，传统和完善后的 E-Z 读者模型均不能完全模拟中文阅读过程。基于此，Li et al.(2009)提出一种基于交互激活框架的词切分和词汇识别的中文阅读计算模型：在中文阅读中，词切分和词汇识别是交互作用的统一过程，读者在词汇识别的同时进行词切分，词汇识别完成的同时词切分自动完成，两个加工过程同步(Li et al., 2011)。E-Z 读者模型对此持相反观点，E-Z 读者模型不认为词切分和词汇识别完全同步，二者是序列加工。此外，Li et al.(2009)的计算模型仅考虑词汇水平，并没有在中文句子的自然阅读中考察这一研究问题。虽然后续研究完善了此模型，提出了适合中文阅读的整合模型(Li & Pollatsek, 2020)。但是整合模型和初始的计算模型并没有完全拟合，此外，整合模型最大的局限在于忽略了高级认知过程，如语义理解等。然而，高级认知因素处于 E-Z 读者模型的最高水平，可以自上而下地影响中文阅读的词切分和词汇识别过程，是不可忽略的。综上，本研究从中文文本特点出发，操纵阅读方向考察文本熟悉性(高级认知因素)在中文词切分和词汇识别上的作用，以此探究中文阅读过程中词切分和词汇识别的加工机制。

中文独特的词切分机制一直是研究者关注的主题，插入词间空间作为词切分线索是否促进中文阅读，研究结果并不一致(Bai et al., 2008; Bassetti, 2009; Li et al., 2009; Cui et al., al., 2014; Zang et al., 2016; Ma, 2017; Liu & Lu, 2018; Ma & Zhuang, 2018; Zhou et al., 2020)。部分研究支持词间空间促进中文阅读过程中的注意分配、词汇识别和语义理解(白学军等, 2015; Yan et al., 2010; Zang et al., 2018)。然而，部分研究并没有发现插入词间空间对中文阅读的促进作用。例如，Bai et al.(2008)将不同切分条件下(无空格、词间空格、字间空格、非词空格)的中文句子呈现给中文母语成人读者，结果没有发现词间空格对中文阅读的促进作用。研究者猜想词间空格的确促进了中文阅读，但在文本中插入词间空格造成了陌生文本，陌生文本引发的文本不熟悉性抵消了词间空格的促进作用。因此，Bai et al.(2008)提出假设：中文文本熟悉性和词间空格的促进作用存在权衡。后续研究发现词间空间促进了外国大学生和阅读障碍儿童的中文阅读（白学军等, 2012; Shen et al., 2012; Zang et al., 2013)。这些被试的共同点是中文阅读经验不足，无空格和词间空格条件下的文本熟悉性没有显著差异。然而，中文母语的成人读者具有丰富的阅读经验，陌生文本(插入词间空格)的文本不熟悉性和默认文本(无空格)的文本熟悉性差异显著，所以词间空间的促进作用被文本熟悉性差异权衡（沈德立等, 2010; Yan et al, 2012)。那么，文本熟悉性和词间空格的促进作用是否存在权衡实验 1 的研究问题。实验 1 操纵文本熟悉性和词切分方式来考察此问题。首先，句子以四种切分(无空格、字间空格、词间空格、非词空格)方式呈现。成人母语读者被要求从右到左(陌生文本)进行阅读。如果读者在词间空格条件下的阅读速度加快且阅读时间减少，这证明词间空格确实有助于陌生文本下的中文阅读。反之，如果读者的阅读表现没有发生变化，则意味着词间空格未促进陌生文本下的中文阅读。接下来，未参加第一阶段眼动实验的 40 名成人母语读者，通过 10 天的阅读训练(从右到左)来提高被试对文本(从右到左)的熟悉性。阅读训练的目的在于增加读者在陌生文本下的阅读经验，提高对陌生文本的文本熟悉性。比较训练前后的阅读表现来考察陌生和熟悉文本下的阅读加工过程的差异。训练后，句子同样以四种空格文本呈现，要求成人母语读者从右向左进行阅读。如果词间空格的促进作用减少或消失，意味着词间空格的促进作用被文本熟悉性抵消或部分抵消，二者之间存在权衡。如果词间空格的促进作用没有变化，意味着文本熟悉性没有影响词间空格的促进作用，二者之间不存在权衡。在实验 1 的基础上，中文文本熟悉性如何影响词汇识别的加工过程是实验 2 的研究问题。

目标词词频会影响中文词汇识别，词频效应是词汇识别的重要指标，即加工低频词(Low-frequency word, LF)的时间长于高频词 (High-frequency word, HF)，并且高频词 (HF) 的跳读率高于低频词(LF)。研究通常操纵词频来考察中文词汇识别的加工机制(Rayner et al.,

1998; Rayner, 2009; Liversedge et al., 2014; Liu et al., 2016; Ma et.al., 2018)。Ma (2017) 操纵词频 (高频和低频) 和空格 (无空格和词间空间) 来考察词切分和词汇识别的加工机制。研究假设词间空格和词频的交互作用显著，但结果并未支持假设，这与前人一致 (Rayner et al., 1998)。然而，使用生存分析法进一步分析，研究结果发现无空格条件下词频效应的出现时间延迟了 21ms，与前人一致(Sheridan et al., 2013)。如果中文阅读的整合模型成立：词切分和词汇识别是交互作用的统一过程，实验 1 发现文本熟悉性和词间空格的促进作用之间存在权衡，文本熟悉性自上而下地影响中文的词切分过程，词切分和词汇识别不可分离，那么，文本熟悉性也会自上而下地影响中文的词汇识别，文本熟悉性和词频效应的权衡会存在于词汇识别水平。这种权衡也可用于解释前人结果：词间空格促进了词汇识别，但词间空间对词频的促进作用被文本不熟悉性部分抵消，结果只发现词间空格促进了词频效应的出现，却没有发现显著交互(Ma, 2017)。因此，实验 2 操纵文本熟悉性(熟悉文本：从左到右，陌生文本：从右到左)和词频(高频，低频)，探究中文文本熟悉性在词汇识别中的作用。如果文本熟悉性和词频存在交互，表明文本熟悉性确实影响了中文阅读的词汇识别。反之，如果文本熟悉性和词频之间没有交互，则表明文本熟悉性可能并不影响词汇识别。同实验一，实验二进行了阅读训练，通过比较训练前后的结果考察词频效应是否会变化。如果词频效应较大或出现较早，则训练与词频的交互作用显著；如果词频效应没有改变，则二者交互作用不显著。

本研究关注的问题是：中文阅读中的词切分和词汇识别的加工机制是完全同步还是部分分离。如果前者成立，读者在词汇识别的同时进行词切分，词汇识别完成的时候，词切分自动完成，二者在加工上是同步的。那么，因为二者加工上的不可分离性，文本熟悉性自上而下地影响词切分加工，也会同样影响词汇识别过程，体现在词频效应的早期、晚期和整体指标上。如果词汇识别和词切分的加工机制并不完全同步，那么文本熟悉性对词汇识别和词切分的影响会存在差异，文本熟悉性和词频效应的权衡在早期、晚期和整体指标上也会存在差异。这意味着中文词切分和词汇识别是序列加工，存在独立的加工阶段，支持 E-Z 读者模型。

2 实验 1：文本熟悉性与词间空格促进作用之间的权衡

实验 1 分为训练前和训练后阶段。训练前眼动实验目的是考察词间空格是否促进陌生文本下的中文阅读。训练后的眼动实验目的是考察词间空格的促进作用是否会减小或消失。实验 1 的目的是考察在文本熟悉性与词间空格的促进作用之间是否存在权衡(Bai et al., 2008)。

2.1 方法

2.1.1 被试

训练前的眼动实验：被试是 40 名本科生(平均年龄 20.78±1.21 岁，女性 28 人，男性 12 人)。母语是中文，视力或矫正视力正常，右利手。训练后的眼动实验：40 名未参与训练前眼动实验的本科生(平均年龄 20.50±1.63 岁，女性 31 人，男性 9 人)。母语是中文，视力或矫正视力正常，右利手。被试在实验前均签署了知情同意书。

2.1.2 实验设计

采用 4 (词切分：无空格条件：中文默认格式，句子中没有空格；字间空格条件：相邻字符之间插入空格；词间空格条件：词与词之间插入空格；非词空格条件：随机插入空格，将相邻的词变成非词) × 2 (文本熟悉性：陌生文本：阅读训练前从右向左阅读；熟悉文本：阅读训练后从右向左阅读)的两因素混合设计。词切分为被试内因素，文本熟悉性为被试间因素。

2.1.3 实验材料

阅读训练前后的眼动实验使用的实验材料相同，为防止练习效应采用了不同被试。构建了 60 个句子，长度都在 15 到 17 个汉字之间 (M = 15.8 个汉字，SD = 0.80 个汉字)。30 名未参加实验的被试对实验句的通顺性进行了七分评分。平均得分为 6.69(其中 7 分为“非常通顺”，1 分为“非常不通顺”)，12 名未参与实验的被试的句子分词一致性为 91%。实验 1 构建了四个文件，每个文件有 60 个句子。60 个句子被分配到四个条件，以拉丁方的形式呈现，每个条件下包含 15 个句子。分为四个组块，每个组块都包括四个条件下的句子，其呈现顺序是随机的。每个文件包含 12 个练习句，分配在四个条件下，每个条件包含三个句子。首先出现练习句，其中 22 个句子后有一个理解性问题，回答是/否，其中是和否的回答数量相等。被试一共阅读 72 个句子。四种情况下的句子示例如表 1 所示。阅读训练的材料是从中文高中课本中选取的 60 篇中文作文(平均字数 M = 936)，通过倒序软件将从左向右格式变为从右向左格式(材料举例见附录)。每篇文章后有 7 个阅读理解问题，被试需要从中选出最合适的答案。

表 1 实验 1 中四个条件下的句子举例

词切分	句子举例
无空格	。利有康健体身对动运育体加参常经

字间空格	。利 有 康 健 体 身 对 动 运 育 体 加 参 常 经
词间空格	。利有 康健 体身 对 动运 育体 加参 常经
非词空格	。利 有康 健体 身对动 运育 体加 参常 经

2.1.4 实验仪器

使用 SR Research Eye Link 1000 眼动仪记录被试的眼动轨迹。取样率为 1000Hz，即每一毫秒记录一次眼动轨迹。刺激在 19 英寸的 DELL 显示器上呈现，刷新率为 1024 × 768。被试眼睛和屏幕之间的距离为 70cm。刺激以宋体 20.8 字号呈现，每个汉字大小为 25 × 25 像素。每个汉字成 0.80 ° 视角。眼动校准点在屏幕右端，句子起始处。

2.1.5 实验程序

训练前眼动实验：被试被要求从右到左阅读句子，需要尽快理解句子的意思，然后按空格键阅读下一句。某些句子后会出现一个阅读理解题，尽可能正确回答。下巴托用于保持头部静止以补偿头部运动。实验前完成校准以计算注视点的位置，在成功校准后开始测试。实验过程中，如有必要将重新校准，实验持续 20 分钟。阅读理解题的回答正确率为 91.0%，表明已经理解句子。

阅读训练阶段。采用集体学习的方式。被试首先熟悉实验室环境，桌面上有被试每天需要阅读的文章，被试坐在个人座位上，呈现指导语："下面你将阅读一些文章。文章中的句子将从右到左呈现。请逐字逐句仔细阅读，尽可能多地理解文章。每篇文章后会出现七个阅读理解问题。需要根据文章选择最合适的答案并填写。"被试在理解指导语后开始阅读文章，回答七个问题，然后再阅读下一篇。每个被试每天持续阅读半小时，持续 10 天。

训练后眼动实验：经过训练后的被试进行眼动实验，同训练前。阅读理解题的正确率为 93.0%，说明已经理解句子。实验流程图如下图：

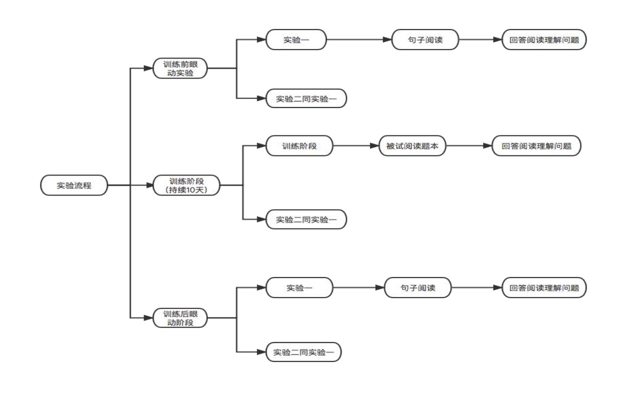


图 1 实验流程图

2.2 数据分析与实验结果

分析的眼动指标如下：(1) 平均注视时间(mean fixation duration)：落在句子上所有注视点的持续时间的平均值; (2) 总注视次数(number of fixations)：落在句子上所有注视点的次数; ; (3) 总注视时间(total time)：落在句子上所有注视点的持续时间的总和; (4)阅读速度(reading speed)：每秒阅读字数的平均值。时间指标(平均注视时间和总注视时间)的单位为毫秒；平均眼跳距离单位为字；阅读速度的单位是字/秒。

根据以下标准(Rayner et al., 2006; Bai et al., 2008; Rayner, 2009; Liang et al., 2017; Wang et al., 2018)，注视时间的分析排除了短于 80 毫秒和超过 800 毫秒的数据。出现以下情况的数据也被排除：(1) 在实验过程中错误按键，导致中断; (2) 因意外因素(如头部移动)导致数据丢失; (3) 注视点少于四个; (4) 在三个标准差之外的数据。排除无效数据（占总数据的 2.23%)，进行数据分析。总体分析的描述统计结果见表 2。

表 2 总体分析指标

	无空格		字间空格		词间空格		非词空格	
	陌生文本	熟悉文本	陌生文本	熟悉文本	陌生文本	熟悉文本	陌生文本	熟悉文本
平均注视时间（毫秒）	262 (43)	260 (37)	236 (34)	237 (34)	241 (39)	236 (37)	242 (36)	243 (37)
注视次数	14.4 (5.55)	10.60 (3.52)	15.68 (5.60)	12.17 (3.96)	14.11 (5.14)	11.16 (3.66)	14.86 (5.31)	11.77 (4.07)
总注视时间（毫秒）	4385 (1817)	3116 (1087)	4412 (1732)	3313 (1103)	3993 (1583)	3043 (1034)	4312 (1749)	3266 (1122)
阅读速度（字 / 秒）	4.31 (2.11)	5.55 (1.98)	4.17 (1.85)	5.20 (1.78)	4.60 (2.04)	5.65 (1.87)	4.33 (2.01)	5.25 (1.88)

注：表中数字是平均值，括号内为标准差，下同。

基于 R 语言(R Core Team, 2016)环境下的线性混合模型(Linear Mixed Model)来分析数据，采用 lme4 数据处理包(Bates et al., 2012)进行数据分析。使用 LMM 数据处理技术在分析数据时，指定被试和项目作为交叉随机效应(Bayen et al., 2008)。使用马尔可夫链蒙特卡罗(Markov-Chain Monte Carlo)的算法得出事后分布的模型参数来作为显著性的估计值，能同时反映来自被试和项目中的变异(Baayen et al., 2012; Josse et al., 2014)。*t* 值在 5%水平上大于 1.96 代表显著。模型在运行过程中，对分析指标进行了 log 转换。线性混合模型分析了词切分方式、文本熟悉性、词切分与文本熟悉性的交互作用作为固定因素。词切分 1 表示无空格

和字间空格条件对比；如果词切分 1(无空格和字间空格)和文本熟悉性之间存在显著的交互作用(交互作用 1)，则将陌生文本下的无空格与字间空格条件进行比较(比较 1)，将熟悉文本下的无空格与字间空格条件进行比较(比较 2)。词切分 2 表示无空格和词间空格条件对比；如果词切分 2(无空格和词间空格)和文本熟悉性之间存在显著的交互作用(交互作用 2)，则将陌生文本下的无空格与词间空格条件进行比较(比较 3)，将熟悉文本下的无空格与词间空格条件进行比较(比较 4)。词切分 3 代表无空格和非词空格条件对比；如果词切分 3(无空格和非词空格)和文本熟悉性之间存在显著的交互作用(交互作用 3)，则将陌生文本下的无空格与非词空格条件进行比较(比较 5)，将熟悉文本下的无空格与非词空格条件进行比较(比较 6)。总体眼动指标的固定效应估计见表 3。

表 3 总体眼动指标的固定效应估计

	平均注视时间(毫秒)	总注视次数	总注视时间(毫秒)	阅读速度(字 / 秒)
截距	5.485***	2.496***	8.136***	1.515***
文本熟悉性	-0.002	-0.234***	-0.251***	0.252***
词切分 1	-0.097***	0.113***	0.046**	-0.045**
词切分 2	-0.091***	0.021§	-0.050***	0.049***
词切分 3	-0.072***	0.069***	0.022§	-0.028*
交互作用 1	0.007	0.060*	0.056*	-0.057*
交互作用 2	-0.013	0.074**	0.062**	-0.058*
交互作用 3	0.010	0.060**	0.057**	-0.067**
比较 1	-0.100***	0.084***	0.018	-0.017
比较 2	-0.093***	0.142***	0.072***	-0.074***
比较 3	-0.084***	-0.015	-0.080***	0.077***
比较 4	-0.097***	0.058***	-0.019	0.020

比较 5	-0.077^{***}	0.039^{*}	-0.007	0.005
比较 6	-0.067^{***}	0.099^{***}	0.049^{**}	-0.061^{***}

注: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, § p < 0.1. 词切分 1：无空格 VS 字间空格；词切分 2：无空格 VS 词间空格；词切分 3：无空格 VS 非词空格。交互作用 1：词切分 1 和文本熟悉性之间的交互；交互作用 2：词切分 2 和文本熟悉性之间的交互；交互作用 3：词切分 3 和文本熟悉性之间的交互。陌生文本下的无空格与字间空格比较(比较 1)，熟悉文本下的无空格与字间空格比较(比较 2)。陌生文本下的无空格与词间空格比较(比较 3)，熟悉文本下的无空格与词间空格比较(比较 4)。陌生文本下的无空格与非词空格比较(比较 5)，熟悉文本下的无空格与非词空格比较(比较 6)。

表 3 结果表明：除了平均注视时间(b = -0.002, SE = 0.022, t = -0.104, p= 0.918, 95%CI = [-0.045,0.041])，文本熟悉性在总注视次数(b = -0.234, SE = 0.055, t = -4.267, p< 0.001, 95%CI = [-0.342, -0.127])，总注视时间(b = -0.251, SE = 0.064, t = -3.894, p< 0.001, 95%CI = [-0.377, -0.125])，阅读速度(b = 0.252, SE = 0.065, t = 3.856, p< 0.001, 95%CI = [0.124, 0.381])指标上的主效应均显著，熟悉文本下的总注视次数和总注视时间显著减少，阅读速度显著增快，结果表明阅读训练(从右向左)对成人母语读者中文阅读的促进作用。

从结果中可以看出字间空格和非词空格对中文阅读的干扰作用，体现在无空格条件和字间空格条件(词切分 1)、非词空格(词切分 3)的比较中。与无空格条件相比，字间空格条件下的平均注视时间更长(b = -0.097, SE = 0.006, t = -16.287, p < 0.001, 95%CI = [-0.108, -0.085])、总注视次数更多(b = 0.113, SE = 0.012, t = 9.147, p< 0.001, 95%CI = [0.089, 0.138])、总注视时间更长(b = 0.046, SE = 0.013, t = -3.440, p = 0.001, 95%CI = [0.020, 0.072])、阅读速度更慢(b = -0.045, SE = 0.014, t = -3.379, p = 0.001, 95%CI = [-0.072, -0.019])。同样，与无空格条件相比，除了总注视时间上边缘显著(b = 0.022, SE = 0.012, t =1.845, p = 0.070, 95%CI = [-0.001, 0.045])。非词空格条件下的平均注视时间(b =-0.072, SE = 0.006, t = -12.618, p < 0.001, 95%CI = [-0.083, -0.061])更长、总注视次数更多(b = 0.069, SE = 0.011, t = 6.396, p< 0.001, 95%CI = [0.048, 0.091])、阅读速度更慢(b = -0.028, SE = 0.012, t = -2.432, p = 0.019, 95%CI = [-0.051, -0.005])。值得注意的是，随着文本熟悉性的增加，字间空格和非词空格的干扰作用增大，除了平均注视时间(b = 0.007, SE = 0.012, t = 0.602 , p = 0.549, 95%CI = [-0.016, 0.030])，交互作用 1(词切分 1:无空格和字间空格 × 文本熟悉性：陌生文本和熟悉文本)在总注视次数(b = 0.060, SE = 0.024, t =2.515, p = 0.014, 95%CI = [0.013, 0.107])、总注视时间(b = 0.056, SE =

0.022, t = 2.497, p = 0.014, 95%CI = [0.012, 0.100])、阅读速度(b = -0.057, SE = 0.024, t = -2.377, p = 0.020, 95%CI = [-0.104, -0.010])上均显著。进一步分析发现：陌生文本下，无空格和字间空格在总注视次数上差异显著，字间空格条件下总注视次数更多(b = 0.084, SE = 0.019, t = 4.384 , p < 0.001, 95%CI = [0.046, 0.121])，随着文本熟悉性的提高，二者差异在熟悉文本中增大(b = 0.142, SE = 0.016, t = 8.754, p < 0.001, 95%CI = [0.111, 0.174])。此外，在陌生文本下，无空格和字间空格在总注视时间(b = 0.018, SE = 0.020, t = 0.885, p = 0.381, 95%CI = [-0.022, 0.058])和阅读速度上(b = -0.017, SE = 0.022, t = -0.775, p = 0.443, 95%CI = [-0.060, 0.026])差异不显著；随着文本熟悉性的提高，熟悉文本的字间空格条件下，读者的总注视时间更长(b = 0.072, SE = 0.014, t = 5.165, p < 0.001, 95%CI = [0.045, 0.100])，阅读速度更慢(b = -0.074, SE = 0.016, t = -4.605, p < 0.001, 95%CI = [-0.105, -0.042])，字间空格对中文阅读的干扰作用体现在读者的阅读表现上。

此外，除了平均注视时间(b = 0.010, SE = 0.011, t = 0.898, p = 0.372 , 95%CI = [-0.011, 0.031])，交互作用 3(词切分 3:无空格和非词空格 × 文本熟悉性：陌生文本和熟悉文本)在总注视次数(b = 0.060, SE = 0.021, t =2.835, p = 0.006, 95%CI = [0.019,0.102])、总注视时间(b = 0.057, SE = 0.021, t = 2.713, p = 0.008, 95%CI = [0.016,0.098])和阅读速度(b = -0.067, SE = 0.022, t = -3.039, p = 0.003, 95%CI = [-0.110, -0.024])上均显著。进一步分析发现：陌生文本下，无空格和非词空格在总注视次数上差异显著，非词空格下的总注视次数更多(b = 0.039, SE = 0.017, t =2.258 , p = 0.030, 95%CI = [0.005, 0.073])。随着文本熟悉性的提高，熟悉文本下的二者差异增大(b = 0.099, SE = 0.015, t = 6.566, p< 0.001, 95%CI = [0.069, 0.128])。此外，陌生文本下，无空格和非词空格在总注视时间(b = -0.007, SE = 0.017, t = -0.403, p = 0.690, 95%CI = [-0.040, 0.027])和阅读速度(b = 0.005, SE = 0.017, t = 0.313, p = 0.757, 95%CI = [-0.029, 0.039])上差异不显著，随着文本熟悉性的提高，熟悉文本下无空格和非词空格在总注视时间(b = 0.049, SE = 0.015, t =3.190, p = 0.002, 95%CI = [0.019, 0.080])和阅读速度上(b = -0.061, SE = 0.015, t = -4.194, p < 0.001, 95%CI = [-0.090, -0.032])差异显著，非词空格条件下的总注视时间更长，阅读速度更慢，非词空格干扰作用体现在读者的阅读表现上。结果表明：文本熟悉性和字间空格、非词空格的干扰也存在权衡，文本不熟悉性会部分权衡字间空格和非词空格的干扰。随着文本熟悉性的提高，字间空格和非词空格对中文阅读的干扰会增大。

实验 1 验证文本熟悉性和词间空格的促进作用是否存在权衡。权衡体现在无空格条件和词间空格条件的比较中(词切分 2)。除了总注视次数上，无空格条件和词间空格条件边缘显著(b = 0.021, SE = 0.012, t =1.831, p = 0.070, 95%CI = [-0.002,0.044])。在词间空格条件下，

读者的平均注视时间更短(b = -0.091, SE = 0.005, t = -16.708, p < 0.001, 95%CI = [-0.101, -0.080])，总注视时间更短(b = -0.050, SE = 0.012, t = -4.124, p < 0.001, 95%CI = [-0.073, -0.026])，阅读速度更快(b = 0.049, SE = 0.013, t = 3.763, p < 0.001, 95%CI = [0.023, 0.074])。除了平均注视时间(b = -0.013, SE = 0.010, t = -1.284 , p = 0.203, 95%CI = [-0.033, 0.007])，交互作用 2(词切分 2:无空格和词间空格 × 文本熟悉性: 陌生文本和熟悉文本)在总注视次数(b = 0.074, SE = 0.023, t = 3.271, p = 0.002, 95%CI = [0.030, 0.118])、总注视时间(b = 0.062, SE = 0.022, t = 2.784, p = 0.007, 95%CI = [0.018, 0.105])和阅读速度(b = -0.058, SE = 0.024, t = -2.408, p = 0.018, 95%CI = [-0.105, -0.011])上均显著。进一步分析发现，陌生文本下，无空格和词间空格的总注视次数差异不显著(b = -0.015, SE = 0.018, t = -0.832 , p = 0.411, 95%CI = [-0.051, 0.021])，而熟悉文本下，无空格条件的注视次数显著少于词间空格条件(b = 0.058, SE = 0.016, t = 3.533, p < 0.001, 95%CI = [0.026, 0.090])。值得注意的是，在总注视时间和阅读速度上，陌生文本下，词间空格条件的总注视时间显著短于无空格(b = -0.080, SE = 0.018, t = -4.379, p< 0.001, 95%CI = [-0.116, -0.044])，阅读速度显著快于无空格条件(b = 0.077, SE = 0.020, t = 3.932, p< 0.001, 95%CI = [0.039, 0.116])。这表明词间空格作为词切分线索促进了读者的中文阅读，缩短了总注视时间，加快了阅读速度。随着文本熟悉性的提高，在总注视时间(b = -0.019, SE = 0.016, t = -1.179, p = 0.246 , 95%CI = [-0.050, 0.012])和阅读速度上(b = 0.020, SE = 0.017, t =1.168 , p = 0.249 , 95%CI = [-0.013, 0.053])，熟悉文本的无空格条件和词间空格条件差异均不显著。这说明随着文本熟悉性提高，词间空格作为词切分线索的促进作用消失。此结果支持研究假设：陌生文本下词间空格促进读者的中文阅读，然而阅读训练后，随着对陌生文本(从右向左)阅读经验的增加，文本熟悉性提高后，词间空格作为词切分线索的促进作用消失。综上，中文文本熟悉性和词间空格的促进作用存在权衡。

2.3 讨论

实验 1 的目的是探究文本熟悉性和词间空格促进作用之间是否存在权衡。通过阅读训练来操纵文本熟悉性，使用 EyeLink 1000 在四种空格条件下记录成年被试的眼动数据。实验 1 结果支持研究假设：在中文阅读中，文本熟悉性和词间空格的促进作用之间存在权衡。

词间空格作为词切分线索对不同被试的促进作用不一致(Bai et al., 2008; Shen et al., 2012; Blythe et al., 2012; Gu et al., 2017)。中文母语读者的阅读经验丰富，词间空格作为词切分线索没有发现词间空格的促进作用(Bai et al., 2008)。初学中文的外国大学生或阅读障碍儿童，中文阅读经验不足，词间空格促进了他们的中文阅读表现(Bai et al., 2009; Shen et al.,

2012; Blythe et al., 2012; Gu et al., 2017)。文本熟悉性和词间空格的促进作用存在权衡，这也可以解释词间空格对不同被试的促进作用不一致。在从右向左的文本中，无论是词间空格还是无空格文本都是陌生文本，二者不存在文本熟悉性的差异。此时，词间空格作为词切分线索显著缩短总注视时间，增快阅读速度。这表明词间空间的确促进了成人母语读者的中文阅读。基于此，10 天陌生文本的阅读训练用于提高被试对陌生文本(从右向左)的文本熟悉性，考察词间空格的促进作用是否会随着文本熟悉性的提高而消失或减少。为了控制实验材料相同，训练后采用新被试来防止练习效应。训练后的结果发现，在无空格和词间空格条件下，阅读速度和总注视时间没有显著差异。这意味着随着文本熟悉性的提高，词间空格作为词切分线索的促进作用再次被插入词间空格的文本不熟悉性所权衡。此外，实验 1 还发现：中文文本熟悉性和字间空格、非词空格的干扰作用也存在权衡。

相较于陌生文本，熟悉文本下字间空格和非词空格对于中文阅读的干扰作用更大。随着阅读经验的增加，文本熟悉性提高后，字间空格、非词空格条件和无空格条件之间的差异增大。特别是总注视时间和阅读速度上，阅读训练前字间空格和无空格条件、非词空格和无空格条件之间的差异不显著。经过 10 天陌生文本的阅读训练后，与无空格条件相比，字间空格和非词空格条件下的总注视时间更长，阅读速度更慢，注视次数也更多，这代表着字间空格和非词空格影响了读者的词切分过程，干扰了中文阅读过程。而这种干扰作用在陌生文本中(阅读训练前)并没有显现，在阅读训练提高文本熟悉性后，才发现字间空格、非词空格和无空格条件下的阅读表现差异显著。这说明字间、非词空格的干扰和文本熟悉性也存在权衡。

综上，实验 1 结果支持中文文本熟悉性和词间空格的促进作用存在权衡。基于此，实验 2 探讨文本熟悉性在中文词汇识别过程中的作用，以此考察中文词切分和词汇识别加工过程的同步性，二者的加工机制是完全同步还是部分分离，是否支持中文 E-Z 读者模型。

3 实验 2：文本熟悉性和词频在词汇识别中的作用

实验 1 发现文本熟悉性和词间空格的促进作用之间存在权衡，中文文本熟悉性会影响词间空格作为词切分线索的促进作用。本研究想要探讨中文词切分和词汇识别的加工同步性。那么，中文文本熟悉性如何影响词汇识别是实验 2 的研究问题，操纵文本熟悉性和词频探讨其在词汇识别中的作用。经过 10 天陌生文本下的阅读训练，考察文本熟悉性和词频在词汇识别中的作用是否变化，为了控制个体差异，训练前后使用相同的被试和不同的实验材料。

3.1 方法

3.1.1 被试

32 名本科生（平均年龄 20.21±1.95 岁，24 名女性，8 名男性）。母语是中文，视力或矫正视力正常，右利手。被试在实验前签署了知情同意书。被试参与了阅读训练前后的眼动实验，并且均接受了为期 10 天的阅读培训。

3.1.2 实验设计

阅读训练前采用 2 (文本熟悉性：陌生文本和熟悉文本) ×2 (词频：高频和低频)的两因素被试内实验设计。阅读训练后采用单因素(词频：高频和低频)被试内实验设计。

3.1.3 实验材料

在阅读训练前，48 对双字词作为目标词。基于公开词典数据库(Cai & Brysbaert, 2010)，词频和字符频率的单位是每百万词的出现次数(OPM)。每对词包括一个高频词和一个低频词。高频词(M = 368.11, SD = 470.72) 和低频词 (M= 8.10, SD = 7.56)，高频词和低频词之间的词频差异显著，t(94) = -5.30, p<0.001. 在笔画数上，高频词 (首字: M = 7.52, SD = 2.90; 尾字: M = 7.65, SD = 2.68) 和低频词(首字: M = 8.15, SD = 3.09; 尾字: M = 7.42, SD = 2.62)匹配，首字: t(94)=1.02, p>0.1.尾字: t(94)=-0.42, p>0.1. 在首字字频上，高频词 (M = 2481.58, SD = 4724.37)和低频词 (M = 1037.95, SD = 2807.45)存在边缘显著，t (94) = -1.82, p = 0.07. 在尾字字频上，高频词 (M = 2699.36, SD = 3623.92) 高于低频词 (M = 1206.97, SD = 1809.49), t (94) = -2.55, p < 0.05。根据目标词建立了 96 个句子，目标词被分配到句子中，而不是句子的开头或结尾。这些句子的长度都在 16 到 23 个字之间(M = 19.40)。40 名未参加眼动追踪实验的被试对实验句子的自然度进行了 7 分制评分。可预测性需要另外 28 名参与者根据目标前的句子上下文提供以下单词。高频条件(通顺性：M = 6.49，SD = 0.38；可预测性：M = 0.15，SD = 1.46)和低频条件进行了匹配(通顺性：M = 6.41，SD = 0.39；可预测性：M = 0.10，SD = 1.02)，ts<1。如表 4 所示。

表 4 实验句和目标词的统计值

目标词	词频	首字笔画数	尾字笔画数	总笔画数	首字字频	尾字字频	通顺性	预测性

高频词	368.11	7.52	7.65	15.17	2481.58	2699.36	6.41	0.15
(48)	(470.72)	(2.90)	(2.68)	(3.30)	(4724.37)	(3623.92)	(0.38)	(1.46)
低频词	8.10	8.15	7.42	15.56	1037.95	1206.97	6.49	0.10
(48)	(7.56)	(3.09)	(2.62)	(3.72)	(2807.45)	(1809.50)	(0.39)	(1.02)

注：括号中为标准差。

训练前的眼动实验建立了四组文件，每组包含了 96 个实验句。每种条件包含 24 个句子，拉丁形式进行轮换。每组句子的顺序是随机的。另外，每组文件还包含十二个练习句，每种条件下三个练习句。 此外，24 个填充句(每种条件 6 个)随机出现。其中的 22 句后会出现一个理解问题，需要“是 / 否”回答。共阅读 132 个句子。四种条件的句子举例见表 5。

表 5 实验中四种条件下的句子举例

目标词	文本熟悉性	句子
高频	熟悉文本	医疗保险业***必须***遵循职业道德规范。
	陌生文本	。范规德道业职循遵***须必***业险保疗医
低频	熟悉文本	医疗保险业***务必***遵循职业道德规范。
	陌生文本	。范规德道业职循遵***必务***业险保疗医

注：***斜体加粗***的双字词为目标词。

阅读训练的材料同实验 1。阅读训练后，24 对双字词作为目标词。高频词 (M = 465.00, SD = 436.55) 和低频词 (M = 465.00, SD = 436.55)，高频词和低频词之间的词频差异显著，t (46) = -5.15, p<0.001。在笔画数上，高频词（首字: M = 8.04, SD = 2.37；尾字: M = 7.33, SD = 2.78)和低频词(首字: M = 8.46, SD = 3.45；尾字: M = 6.63, SD = 2.84)匹配，首字: t(46)=0.49, p>0.1。尾字: t(46)=0.39, p>0.1。在首字字频上，高频词(M = 1501.60, SD = 1962.25)和低频词(M = 494.67, SD = 599.69)差异显著，t (46) = -2.40, p = 0.02. 在尾字字频上， 高频词 (M = 2955.16, SD = 3403.15) 高于低频词 (M = 1133.15, SD = 1745.39)，t (46) = -2.33, p = 0.02. 根据目标词，建立了 48 个中文句子。目标词被分配到句子中，而不是句子的开头或结尾。40 名未参加眼动追踪实验的被试对实验句子的自然度进行了 7 分制评分。可预测性需要另外 28 名参与者根据目标前的句子上下文提供以下单词。高频条件（通顺性: M= 6.33, SD = 0.40；预测性: M= 0.04, SD = 0.20) 和低频条件 (通顺性: M= 6.36, SD = 0.42；预测性: M= 0.13, SD = 0.34)匹配，通顺性: t(46)=0.27, p > 0.1；预测性: t(46)=1.03, p > 0.1。如表 6 所示。

表 6 实验句和目标词的统计值

目标词	词频	首字笔画数	尾字笔画数	总笔画数	首字字频	尾字字频	通顺性	预测性
高频	465.00	8.04	7.33	15.38	1501.60	2955.16	6.33	0.04
(24)	(436.55)	(2.37)	(2.78)	(3.75)	(1962.25)	(3403.15)	(0.40)	(0.20)
低频	6.24	8.46	6.63	15.08	494.67	1133.15	6.36	0.13
(24)	(5.63)	(3.45)	(2.84)	(4.49)	(599.69)	(1745.39)	(0.42)	(0.34)

注：括号里为标准差。

构建了四组文件，每个文件中包含 48 个句子。每种条件有 24 个句子，根据拉丁方形式轮换。每个条件中的句子呈现顺序是随机的。每组文件都包含六个练习句子，每种条件下三句。此外，还有 12 个填充句(每种条件 6 个)随机出现。在 11 个句子后，提出了一个阅读理解问题，进行“是/否”回答。每位被试一共阅读了 66 个句子。两种实验句举例见表 7。

表 7 实验条件下的句子举例

目标词	句子
高频	。师老语英的责负观乐***要需***校学际国
低频	。师老语英的责负观乐***需急***校学际国

注：***斜体加粗***的双字词为目标词。

3.1.4 实验仪器

同实验一。

3.1.5 实验程序

训练前的眼动实验：同实验 1，阅读理解问题的正确率达到了 91%，表明句子已被认真阅读且理解。阅读训练阶段：同实验 1。训练前的眼动实验：同阅读训练前，阅读理解问题的正确率达到了 93%，表明句子已被认真阅读且理解。

3.2 数据分析

数据筛选标准如实验一。排除无效数据(占总数据的 2.8%)，进行数据分析。

对以下目标词的眼动指标进行分析：(1)首次注视时间(First fixation duration，第一次注视单词的持续时间，与注视次数无关)；(2)单次注视时间(Single fixation duration，在第一遍阅

读时只注视一次的持续时间)；(3)凝视时间(Gaze duration，移动到下一个词之前对一个词的所有注视的时间总和)；(4)总注视时间(Total time，对目标词的所有注视时间的总和，包括回归)；(5)跳过概率(Skipping probability,在第一次阅读时跳过目标区域的概率)；(6)再注视概率(Refixation rate, 在第一次阅读中目标区域被多次注视的概率)；(7)平均首次注视位置(Average initial landing position，不管词上有多少次注视，只计算在该词上的第一次注视时注视点所处的位置)。时间指标的单位为毫秒，平均首次注视位置的单位为字。

基于 R 语言(R Core Team, 2016)环境下的线性混合模型(Linear Mixed Model)来分析数据，采用 lme4 数据处理包(Bates et al., 2012)进行数据分析。使用 LMM 数据处理技术在分析数据时，指定被试和项目作为交叉随机效应(Bayen et al., 2008)。使用马尔可夫链蒙特卡罗(Markov-Chain Monte Carlo)的算法得出事后分布的模型参数来作为显著性的估计值，能同时反映来自被试和项目中的变异(Baayen et al., 2012; Josse et al.., 2014)。*t* 值在 5%水平上大于 1.96 代表显著。模型在运行过程中，对分析指标进行了 log 转换，而对跳读和再注视概率则进行 logistic lme 转换。线性混合模型分析了词频、训练、文本熟悉性、词频与训练的交互作用、词频与文本熟悉性的交互作用作为固定因素。如果词频和文本熟悉性之间存在显著的交互作用(交互 1)，则将训练前的熟悉文本(从左向右)下的高频条件与低频条件进行比较(比较 1)，将训练前的陌生文本(从右向左)下的高频和低频条件进行比较(比较 2)。如果词频和训练之间存在显著的交互作用(交互 2)，则训练前的陌生文本(从右向左)将高频与低频条件进行比较(比较 2)，在训练后的陌生文本(从右向左)将高频与低频条件进行比较(比较 3)。

3.3 实验结果

在目标词的眼动指标上的描述统计结果见表 8，分析结果见表 9。

表 8 目标词上的眼动指标

	词频	阅读训练前 从左向右	阅读训练前 从右向左	阅读训练后 从右向左
首次注视时间(毫秒)	高频	242(73)	276(97)	278(80)
	低频	266(88)	280(100)	282(86)
单次注视时间(毫秒)	高频	241(73)	272(93)	275(78)
	低频	264(86)	276(100)	280(84)

凝视时间(毫秒)	高频	274(109)	387(184)	348(157)
	低频	327(146)	427(208)	395(190)
总注视时间(毫秒)	高频	369(183)	616(333)	471(281)
	低频	484 (257)	742(385)	609(339)
跳读率	高频	0.23(0.38)	0.17(0.29)	0.12(0.26)
	低频	0.18(0.32)	0.11(0.26)	0.12(0.22)
再注视概率	高频	0.12(0.26)	0.34(0.43)	0.24(0.38)
	低频	0.22(0.36)	0.43(0.49)	0.34(0.42)
平均首次注视位置	高频	0.91(0.56)	0.80(0.50)	0.83(0.53)
(字)	低频	0.87(0.51)	0.73(0.44)	0.81 (0.50)

注:括号中是标准差。下同。

表 9　在目标词上的眼动指标的固定效应估计

	FFD	SFD	GD	TT	SP	RR	AIP
截距	5.541***	5.531***	5.764***	6.114***	0.153***	0.291***	-0.547***
词频	0.038**	0.035*	0.119***	0.232***	-0.035***	0.096***	-0.077*
文本熟悉性	0.078***	0.053**	0.253***	0.431***	-0.070***	0.220***	-0.185***
训练	0.027§	0.027	-0.068**	-0.229***	-0.017	-0.103***	0.065
交互作用 1	-0.070*	-0.073*	-0.066	-0.030	0.013	-0.017	-0.022
交互作用 2	0.004	-0.011	0.023	0.050	0.039§	0.017	0.048
比较 1	0.084***	0.088***	0.156***	0.235***	0.000***	0.000***	-0.079
比较 2	0.014	0.015	0.090**	0.205***	0.000*	0.000***	-0.101§
比较 3	0.017	0.003	0.113***	0.255***	0.000	0.000***	-0.052

注: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, § p < 0.1. 交互作用 1 代表词频和文本熟悉性之间的交互作用。交互作用 2 代表词频和训练之间的交互作用。从左到右文本在阅读训练前，高频与低频进行比较(比较 1)。从右到左文本在阅读训练前，高频和低频进行比

较(比较 2)。从右到左的文本在阅读训练后，高频和低频进行比较（比较 3）。

阅读训练可以提高被试的阅读经验，提高对于陌生文本(从右向左)的文本熟悉性。在阅读训练的主效应上，首次注视时间边缘显著($b = 0.027$, $SE = 0.014$, $t = 1.899$, $p = 0.059$, 95%CI = [-0.001, 0.054])。单次注视时间不显著($b = 0.027$, $SE = 0.019$, $t = 1.452$, $p = 0.147$, 95%CI = [-0.009, 0.064])。在其他时间指标上，训练主效应显著(凝视时间: $b = -0.068$, $SE = 0.022$, $t = -3.044$, $p = 0.003$, 95%CI = [-0.111, -0.024]。总注视时间: $b = -0.229$, $SE = 0.033$, $t = -6.878$, $p < 0.001$, 95%CI = [-0.294, -0.164]), 训练后再注视概率更低 ($b = -0.103$, $SE = 0.015$, $t = -6.74$, $p < 0.001$, 95%CI = [-0.133, -0.073])。平均首次注视位置离词首更远($b = 0.065$, $SE = 0.038$, $t = 1.691$, $p = 0.091$, 95%CI = [-0.010, 0.140])。跳读率上无显著差异($b = -0.017$, $SE = 0.011$, $t = -1.51$, $p = 0.130$, 95%CI = [-0.039, 0.005])。

所有指标上的词频效应均显著(首次注视时间: $b = 0.038$, $SE = 0.012$, $t = 3.294$, $p < 0.001$, 95%CI = [0.016, 0.061]；单次注视时间: $b = 0.035$, $SE = 0.015$, $t = 2.424$, $p = 0.016$, 95%CI = [0.007, 0.064]；凝视时间: $b = 0.119$, $SE = 0.018$, $t = 6.540$, $p < 0.001$, 95%CI = [0.084, 0.155]；总注视时间: $b = 0.232$, $SE = 0.027$, $t = 8.500$, $p < 0.001$, 95%CI = [0.178, 0.285]；跳读率: $b = -0.035$, $SE = 0.011$, $t = -3.191$, $p = 0.002$, 95%CI = [-0.056, -0.013]；再注视概率: $b = 0.096$, $SE = 0.016$, $t = 5.856$, $p < 0.001$, 95%CI = [0.064, 0.128]；平均首次注视位置: $b = -0.077$, $SE = 0.032$, $t = -2.43$, $p = 0.015$, 95%CI = [-0.140, -0.015])。在所有指标上，文本熟悉性的主效应均显著(首次注视时间: $b = 0.078$, $SE = 0.015$, $t = 5.388$, $p < 0.001$, 95%CI = [0.049, 0.106], 单次注视时间: $b = 0.053$, $SE = 0.017$, $t = 3.139$, $p < 0.005$, 95%CI = [0.020, 0.087], 凝视时间: $b = 0.253$, $SE = 0.023$, $t = 11.206$, $p < 0.001$, 95%CI = [0.208, 0.297], 总注视时间: $b = 0.431$, $SE = 0.034$, $t = 12.838$, $p < 0.001$, 95%CI = [0.365, 0.497], 跳读率: $b = -0.070$, $SE = 0.000$, $t = -3.327$, $p = 0.001$, 95%CI = [-0.092, -0.048], 再注视概率: $b = 0.220$, $SE = 0.016$, $t = 14.006$, $p < 0.001$, 95%CI = [0.189, 0.250], 平均首次注视位置: $b = -0.185$, $SE = 0.039$, $t = -4.692$, $p < 0.001$, 95%CI = [-0.262, -0.108])。这与研究假设一致，和前人研究一致 (Li et al., 2011; Liu et al., 2016; Ma, 2017; Ma et al., 2017; Wang et al., 2018)。字中心是眼球运动的最佳注视位置，在最佳注视位置的阅读效率最高。注视位置离字中心越远，离字开头越近，注视效率越低(白学军等, 2014；Li et al., 2011; Yan et al., 2010; Zang et al., 2013)。读者因文本不熟悉性付出了更多的阅读代价(Li et al., 2011; Ma, 2017)。

值得注意的是，在不同指标上，词频和文本熟悉性的交互作用不一致。在早期指标上，词

频和文本熟悉性的交互作用显著。首先，首次注视时间上交互作用显著（交互作用: $b = -0.070$, $SE = 0.029$, $t = -2.442$, $p = 0.015$, 95%CI = [-0.126, -0.014]。熟悉文本下的词频效应显著: $b = 0.084$, $SE = 0.021$, $t = 4.055$, $p < 0.001$。陌生文本下的词频效应不显著: $b = 0.014$, $SE = 0.020$, $t = 0.694$, $p = 0.488$)。单次注视时间上交互作用显著，单次注视时间被认为是词汇识别语义阶段的一个反应灵敏的指标，受到词频的影响很大（交互作用: $b = - 0.073$, $SE = 0.034$, $t = -2.155$, $p = 0.032$, 95%CI = [-0.139, -0.007]。熟悉文本下的词频效应显著: $b = 0.088$, $SE = 0.023$, $t = 3.879$, $p < 0.001$。陌生文本下的词频效应不显著: $b = 0.015$, $SE = 0.025$, $t = 0.584$, $p = 0.559$)。在凝视时间上没有显著的交互作用（$b = -0.066$, $SE = 0.045$, $t = -1.472$, $p = 0.142$, 95%CI = [-0.154, 0.022]），与陌生文本相比（$b = 0.090$, $SE = 0.031$, $t = 2.867$，$p = 0.004$）熟悉文本下的词频效应更大（$b = 0.156$, $SE = 0.032$, $t = 4.837$, $p < 0.001$）。总注视时间上交互作用不显著($b = -0.030$, $SE = 0.067$, $t = -0.454$, $p = 0.650$, 95%CI = [-0.162, 0.101]。此外，跳读率($b = 0.013$, $SE = 0.022$, $t = 0.584$, $p = 0.559$, 95%CI = [-0.031, 0.057])，再注视概率($b = -0.017$, $SE = 0.031$, $t = -0.554$, $p = 0.580$, 95%CI = [-0.078, 0.044])和平均首次注视位置上的交互作用均不显著($b = -0.022$, $SE = 0.078$, $t = -0.275$, $p = 0.783$, 95%CI = [-0.175, 0.132])。词频效应的结果和前人研究一致(Rayner et al., 1998; Li et al., 2011; Ma, 2017)。

交互作用 2 显示了词频和训练的交互。除了跳读率(交互边缘显著（$b = 0.039$, $SE = 0.022$, $t = 1.724$, $p = 0.085$, 95%CI = [-0.005, 0.083])。阅读训练前，词频效应显著: $b = 0.000$, $SE = 0.000$, $t = -2.562$, $p = 0.011$，训练后词频效应不显著: $b = 0.000$, $SE = 0.000$, $t = -0.271$, $p = 0.787$)，其他指标上的交互均不显著。首次注视时间($b = 0.004$, $SE = 0.028$, $t = 0.130$, $p = 0.896$, 95%CI = [-0.052, 0.059])，单次注视时间（$b = -0.011$, $SE = 0.037$, $t = -0.309$, $p = 0.758$, 95%CI = [-0.084, 0.061])，凝视时间($b = 0.023$, $SE = 0.044$, $t = 0.521$, $p = 0.603$, 95%CI = [-0.064, 0.110])，总注视时间($b = 0.050$, $SE = 0.066$, $t = 0.758$, $p = 0.449$, 95%CI = [-0.080, 0.181])，再注视概率($b = 0.017$, $SE = 0.030$, $t = 0.548$, $p = 0.584$, 95%CI = [-0.043, 0.076])和平均首次注视位置（$b = 0.048$, $SE = 0.077$, $t = 0.631$, $p = 0.528$, 95%CI = [-0.102, 0.199])上的交互作用均不显著。

3.4 讨论

实验 2 操纵文本熟悉性和词频考察其在词汇识别过程的作用，而后进行阅读训练，考察二者的作用是否发生变化。

实验 2 发现在熟悉文本和高频词条件下，被试的阅读表现更好。值得注意的是，在早期指标(首次注视时间和单次注视时间)上，文本熟悉性和词频的交互作用显著，词频效应出现

在熟悉文本中但没有出现在陌生文本中。其他时间指标上没有发现显著的交互，这说明文本熟悉性影响词汇识别中的早期加工，文本不熟悉性权衡了早期的词频效应，影响词汇识别的早期加工阶段。这也可以用于解释 Ma(2017)的研究，因为操纵词间空格引入了新的变量：文本不熟悉性。中文文本中不含有词间空格，插入词间空格的文本对于读者而言是陌生文本。词间空格可能促进了词汇识别，但促进作用被文本不熟悉性部分权衡，故未发现词间空格和词频的交互，但发现词频效应的出现时间提前了 21 毫秒 (Rayner et al., 1998; Ma, 2017)。此外，在再注视概率上发现了显著的交互，再注视概率可以灵敏地反映认知加工和阅读过程中的加工效率，再注视效率低代表着可以在更少的注视次数中注视到最佳注视位置(optimal viewing position, OVP)，获得更多信息。因此，文本熟悉性影响了词汇识别过程中的加工效率。结果发现后期和总体时间指标上训练的主效应显著，而在首次注视时间上，训练的主效应边缘显著。训练主效应的不一致性可能是因为，在陌生文本下(从右向左)的阅读经验对后期识别过程的影响更大。此外，阅读训练增加了中文阅读经验，而在早期指标上依然没有出现词频效应。这可能是因为阅读经验更多影响语义加工水平，自上而下地影响词汇识别，但是首次和单次注视时间受到其他因素(如汉字字形特点)的影响更大。实验 2 结果说明文本不熟悉性影响词汇识别的早期加工，文本熟悉性和词频在词汇识别的早期指标上存在交互。

4 总讨论

本研究目的在以文本熟悉性在中文词切分和词汇识别中的作用来探讨中文词切分和词汇识别的加工机制。实验 1 发现了中文文本熟悉性和词间空格促进作用的权衡，实验二发现文本熟悉性和词频在早期指标上的交互，文本熟悉性更多影响词汇识别的早期加工。实验结果支持研究假设：中文词切分和词汇识别的加工机制并不完全同步，可能是序列加工。本研究结果支持 E-Z 读者模型。

中文文本熟悉性和词间空格的促进作用是否存在权衡是实验 1 的研究问题。Bai et al. (2008)没有发现词间空格对成年母语读者的促进作用，提出此假设。实验 1 操纵了文本熟悉性，结果发现词间空间条件下的阅读速度更快。这意味着词间空格可以促进成人母语读者的中文阅读(Hsu & Huang, 2000; Inhoff et al., 2000; Inhoff & Radach, 2002; Liu et al., 2014; Ma et al., 2014)。10 天的阅读训练提高了被试对陌生文本(从右向左)的熟悉性，结果发现无空格和词间空格条件下，阅读速度和总注视时间没有显著差异，这意味着词间空间的促进作用消失。实验 1 支持中文文本熟悉性和词间空格的促进作用之间存在权衡。在中文词切分水平上，权

衡背后的加工机制是低级视觉因素(词间空格作为词切分线索)和高级认知因素(阅读经验)的交互。即使中文母语读者的阅读水平极高，在遇到歧义文本或者复杂文本时(例如：“花生长在土地中”可以理解为“花生 长在土地中”和“花 生长在土地中”)，也会存在理解困难。实验 1 的研究意义在于，在陌生文本条件下，词间空格能提高中文母语读者的中文阅读表现。此外，对于阅读障碍儿童和成人，词间空格可以有效缓解他们在阅读过程中的视觉拥挤效应，可以通过对阅读材料进行人工词切分来提高阅读效率。同时，阅读训练背后的阅读经验会影响词汇识别的速度和效率(Li et al., 2011; Yan et al., 2012)。此外，采用不熟悉的文本进行中文阅读训练发现：即使是阅读水平极高的成人母语被试也可以从短期的阅读训练中受益。这为后续研究提供启示，阅读训练的对象可以不局限于特殊的研究对象(Berends & Reitsma, 2006; Snellings et al., 2009)。

实验 1 发现了中文文本熟悉性和词间空格促进作用之间的权衡。文本熟悉性作为高级的认知因素自上而下影响中文词切分水平。中文词切分和词汇识别的计算模型中包含前馈假设和整体假设(Li et al., 2009)。前馈假设支持汉字识别系统从字符中获取视觉信息，然后将其转移到词切分阶段，最后将其整合到词识别阶段的过程。加工过程只有自下而上的前馈，没有自上而下的反馈。然而，整体假设支持视觉信息、汉字识别和词识别系统交互影响词切分和词识别阶段。基于整体假设，词间空间作为低级视觉信息自下而上影响信息的加工，而阅读经验作为高级认知因素自上而下地影响信息的加工。因此，文本熟悉性背后的高级认知因素(阅读经验)和作为低级视觉因素的词间空间存在权衡。这也解释了为什么前人没有发现词间空间促进成人母语者(阅读经验丰富)的中文阅读(Bai et al., 2008; Shen et al., 2010; Yan et al., 2012)。阅读经验作为高水平的认知因素会影响词间空间作为低级视觉线索的促进作用。词间空间促进了中文阅读经验不足的外国大学生的词汇识别(Shen et al., 2012; Gu et al., 2017; Zhou et al., 2020)。本研究认为整体假设更适合中文阅读的词切分机制(Li et al., 2011; Ma, 2017; Ma & Zhuang, 2018)。在实验 1 的基础上，文本熟悉性(阅读经验)作为高水平的认知因素在词汇识别中的作用是实验 2 的研究问题，同时词汇识别水平上是否存在权衡也反映词切分和词汇识别的加工机制是否具有同步性。实验 2 结果表明：只在早期时间指标上发现文本熟悉性和词频显著的交互，二者在后期和整体指标上并没有显著的交互。文本不熟悉性推迟了词频效应，和前人研究相似：无空格将词频效应推迟了 21 毫秒(Ma, 2017)。前人研究没有发现词频和词间空格的交互(Rayner et al., 1998)，却发现词频效应在词间空格条件下提前 21 毫秒(Sheridan et al., 2013; Ma, 2017)。由此猜想，词间空格的确促进了词汇识别，但被词间空格造成的文本不熟悉性权衡。实验 2 支持此猜想：在中文词汇识别的早期阶段，词频效应

会被中文文本的不熟悉性所权衡。

在中文词切分和词汇识别的加工机制上，整合模型认为：中文词切分和词汇识别过程是交互作用的过程，词汇识别的同时进行词切分，词汇识别完成后词切分自动完成(Li et al., 2009; Ma, 2017)。词汇识别是一种“赢家通吃”(winner-take-all) 模式，当词被识别出来，词的开始和末尾也被确定，此时词已经从连续文本中切分出来了(Li & Pollatsek, 2020)。词切分和词汇识别的加工具有同步性。然而，E-Z 读者模型并不支持中文阅读的整合模型的观点，它认为二者不是平行加工而是序列加工。E-Z 读者模型中存在两个核心阶段：(1) 熟悉性检验(L1)阶段，读者完成对词汇 n 的早期加工，这会触发动眼神经的扫视功能，眼睛从词 n 移到词 n+1; (2) 词汇通达(L2)阶段，词汇 n 加工完成时，注意由词 n 转到词 n+1，扫视和注意力转移是序列加工，注意只能集中于一个词汇。根据模型假设，视觉加工过程中还存在一个早期的前注意阶段，低水平的视觉信息(low-spatial frequency information：例如，作为词切分线索的词间空格)会被动眼神经系统用于选择目标；高水平的视觉信息(high-spatial frequency information：例如，识别单个字符所需的特征) 也会被词汇识别系统的注意选择用于进一步的词汇加工。E-Z 读者模型的影响力最大，理论框架最完善，但是中文无词间空格的文字特点会让中文读者的眼动模式和拼音读者的眼动模式有极大不同，即使是完善后的中文 E-Z 读者模型也不能完美拟合中文阅读过程。基于中文文字特点，中文阅读的词汇加工和眼动的整合模型仅考虑词切分和词汇加工水平，并没有考虑语义理解等高级认知因素，完善前的计算模型(Li et al., 2009)和完善后的整合模型(Li & Pollatsek, 2020)也没有达到完全一致，它和中文自然阅读过程也无法完美拟合。综上，无论是 E-Z 读者模型还是中文阅读词汇加工和眼动的整合模型，都需要更多实证研究来验证和完善。

在中文阅读过程中，读者正在注意的词叫做目标词(词 N)，目标词的下一个词叫做预览词(词 N+1)。预视效益是指读者可以通过副中央凹的视觉感知注视目标词右侧的信息，预览词(词 N+1)在预视阶段可以被部分或者完全加工(Schotter et al., 2012)。根据实验 1 和实验 2 的结果，文本熟悉性在词切分和词汇识别中的作用不完全一致，这意味着词切分和词汇识别的加工机制中存在另一种可能：词切分和词汇识别的加工过程不是完全同步，而是序列加工。读者可以先完成或部分完成词切分再进行词汇识别。在熟悉文本下，被试在预视阶段完成或部分完成分词(词 N+1)，进入词汇识别阶段，因此词频效应出现在早期的注视阶段。然而，被试在陌生文本下没有足够的阅读经验，需要付出更多的阅读成本，预视阶段可能无法完成分词(词 N+1)，熟悉度验证会推迟分词(词 N+1)，从而出现延迟的词频效应。另一方面，如果分词和词汇识别的加工机制是完全同步，那么文本熟悉性对词频效应的影响应该存在于全

加工过程。然而，实验 2 结果表明文本熟悉性与词频之间的交互只体现在早期指标(首次注视时间和单次注视时间)。在后期指标中，熟悉文本和陌生文本中均存在词频效应，这说明分词(词 N+1)过程已经完全完成，进入词汇识别阶段。综上，中文阅读中词切分和词汇识别的加工机制不是完全同步的平行加工，而可能是序列加工，支持 E-Z 读者模型，这也可以为中文阅读模式(Chinese reading model)提供实证证据(Li & Pollatsek, 2020)。然而，词切分和词汇识别加工机制复杂，不同加工水平(视觉和字符水平，字符和词汇水平，视觉和词汇水平，视觉、字符、词汇三水平)之间是否存在权衡，未来需要进一步探讨。

5 结论

本研究结果表明：(1)中文文本熟悉性和词间空格的促进作用存在权衡。(2)中文文本熟悉性影响词汇识别过程的早期加工。(3)中文阅读中词切分和词汇识别可能是序列加工，支持 E-Z 读者模型。

参考文献

Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language, 59*(4), 390–412. doi:10.1016/j.jml.2007.12.005

Bai, X. J., Li, X., & Yan, G. L. (2015). Eye movement control in Chinese reading: A summary of 20-years research. *Psychological Development and Education, 31*(1), 85–91.doi:10.16187/j.cnki.issn1001-4918.2015.01.12.

[白学军, 李馨, 闫国利. (2015). 汉语阅读眼动控制: 20 年研究的总结. *心理发展与教育, 31*(1), 85–91.]

Bai, X. J., Liang, F. F., Yan, G. L., Tian, J., Zang, C. L., & Meng, H. X. (2012). Inter-word space effects on saccadic target selection in Chinese reading: evidence from second language learners. *Acta Psychologica Sinica, 44*(7), 853–867.doi:CNKI:SUN:XLXB.0.2012-07-003.

[白学军, 梁菲菲, 闫国利, 田瑾, 臧传丽, 孟红霞. (2012).词边界信息在中文阅读眼跳目标选择中的作用: 来自中文二语学习者的证据. *心理学报, 44*(7): 853–867.]

Bai, X. J., Yan, G. L., Liversedge, S. P., Zang, C. L., & Rayner, K. (2008). Reading spaced and unspaced Chinese text: evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, 34*(5), 1277–1287. doi:10.1037/0096-1523.34.5.1277

Bai, X. J., Zhang, M. M., Zang, C. L., Li, X., Chen, L., & Yan, G. L. (2014). The effect of word boundary information on Chinese word acquisition and recognition: evidence from eye movements. *Advances in Psychological Science, 22*(1), 1–8. doi:CNKI:SUN:XLXD.0.2014-01-001.

[白学军, 张慢慢, 臧传丽, 李馨, 陈璐, 闫国利. (2014). 词边界信息在中文词汇学习与识别中的作用:眼动研究的证据. *心理科学进展, 22*(1):1–8.].

Bassetti, B. (2009). Effects of adding interword spacing on Chinese reading: a comparison of Chinese native readers and English readers of Chinese as a second language. *Applied Psycholinguistics, 30*(4), 757–775. doi:10.1017/s0142716409990105

Bates, D., Maechler, M., & Bolker, B. (2012). *lme4: Linear mixed-effects models using S4 classes.* R package version 0.999375 − 42.

Berends, I.E., & Reitsma, P. (2006). Remediation of fluency: word specific or generalised training effects? *Reading and Writing, 19*(2), 221–234. doi: 10.1007/s11145-005-5259-3

Blythe, H. I., Liang, F. F., Zang, C. L., Wang, J. X., Yan, G. L., Bai, X. J., & Liversedge, S. P. (2012). Inserting spaces into Chinese text helps readers to learn new words: an eye movement study. *Journal of Memory and Language, 67*(2), 241–254. doi:10.1016/j.jml.2012.05.004

Cai, Q., & Brysbaert, M. (2010). SUBTLEX-CH: Chinese word and character frequencies based on film subtitles. *Plos One, 5*(6). doi:10.1371/journal.pone.0010729

Chung, H. K. S., Liu, J. Y. W., & Hsiao, J. H. (2017). How does reading direction modulate perceptual asymmetry effects? *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 70*(8), 1559–1574. doi:10.1080/17470218.2016.1193549

Cui, L., Drieghe, D., Bai, X. J., Yan, G. L., & Liversedge, S. P. (2014). Parafoveal preview benefit in unspaced and spaced Chinese reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 67*(11), 2172–2188. doi:10.1080/17470218.2014.909858

Deutsch, A., & Rayner, K. (1999). Initial fixation location effects in reading Hebrew words. *Language and Cognitive Processes, 14*(4), 393–421. doi:10.1080/016909699386284

Gu, J. J., Zhang, Y., & Zheng, H. Y. (2017). An eye movement study: the role of word segmentation for Russian students on Chinese reading. *Psychological Research, 10*(4), 22–29.

[顾俊娟, 张鄞, 郑海英. (2017). 词切分对俄国留学生汉语阅读影响的眼动研究. *心理研究, 10*(4): 22-29.]

Hsu, S. H., & Huang, K. C. (2000). Inter-word spacing in Chinese text layout. *Perceptual and Motor Skills, 91*(2), 355–365. doi:10.2466/pms.91.6.355-365

Inhoff, A. W., & Radach, R. (2002). The role of spatial information in the reading of complex words. *Comments on Theoretical Biology, 7*(3), 121–138. doi: 10.1080/08948550213850

Inhoff, A. W., Radach, R., & Heller, D. (2000). Complex compounds in German: inter-word spaces facilitate segmentation but hinder assignment of meaning. *Journal of Memory and Language. 42*(1), 23–50. doi: 10.1006/jmla.1999.2666

Josse, J., van Eeuwijk, F., Piepho, H. P., & Denis, J. B. (2014). Another look at bayesian analysis of AMMI models for genotype-environment data. *Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics, 19*(2), 240–257. doi:10.1007/s13253-014-0168-z

Li, M. X., Lv, H. Y., Abdukerim, Z., Zhang, Y. J., Qiao, F. Q., & Li, Q. W. (2016). Verbal-spatial and visuospatial coding of the SNARC effect: a comparative study in cultures with different reading directions. *Perceptual and Motor Skills, 123*(1), 17–32. doi:10.1177/0031512516654500

Li, X. S., & Pollatsek, A. (2020). An integrated model of word processing and eye-movement control during Chinese reading. *Psychological Review, 127*(6), 1139–1162. doi:10.1037/rev0000248

Li, X. S., Liu, P. P., & Ma. G. J. (2011). Advances in cognitive mechanisms of word segmentation during Chinese reading. *Advances in Psychological Science, 19*(4), 459–470.

[李兴珊, 刘萍萍, 马国杰. (2011). 中文阅读中词切分的认知机理述评.*心理科学进展, 19*(4): 459–470.]

Li, X. S., Rayner, K., & Cave, K. (2009). On the segmentation of Chinese words during reading. *Cognitive Psychology, 58*(4), 525–552. doi:10.1016/j.cogpsych.2009.02.003

Liang, F. F., Blythe, H. I., Bai, X. J., Yan, G. L., Li, X., Zang, C. L., & Liversedge, S. P. (2017). The role of character positional frequency on Chinese word learning during natural reading. *Plos One, 12*(11). doi:10.1371/journal.pone.0187656

Liu, P. P., & Lu, Q. (2018). The effects of spaces on word segmentation in Chinese reading: evidence from eye movements. *Journal of Research in Reading, 41*(2), 329–349. doi:10.1111/1467-9817.12106

Liu, P. P., Li, W. J., Han, B. X., & Li, X. S. (2014). Effects of anomalous characters and small stroke omissions on eye movements during the reading of Chinese sentences. *Ergonomics, 57*(11), 1659–1669. doi:10.1080/00140139.2014.945492

Liu, Y. P., Reichle, E. D., & Li, X. S. (2016). The effect of word frequency and parafoveal preview on saccade length during the reading of Chinese. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance, 42*(7), 1008–1025. doi:10.1037/xhp0000190

Liversedge, S. P., Zang, C. L., Zhang, M. M., Bai, X. J., Yan, G. L., & Drieghe, D. (2014). The effect of visual complexity and word frequency on eye movements during Chinese reading. *Visual Cognition, 22*(3-4), 441–457. doi:10.1080/13506285.2014.889260

Ma, G. J. (2017). Does interword spacing influence lexical processing in Chinese reading? *Visual Cognition, 25*(7-8), 815–824. doi:10.1080/13506285.2017.1338322

Ma, G. J., Li, D. X., & Zhuang, X. L. (2019). Do visual word segmentation cues improve reading performance in Chinese reading? *Ergonomics, 62*(8), 1086–1097. doi:10.1080/00140139.2019.1608315

Ma, G. J., Li, X. S., & Rayner, K. (2014). Word segmentation of overlapping ambiguous strings during Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance, 40*(3), 1046–1059. doi:10.1037/a0035389

Ma, G. J., & Zhuang, X. L.(2018). Distributional analyses of word frequency effects in Chinese sentence reading and lexical decision tasks. *Journal of Research in Reading, 41*(1), 183–196. doi:10.1111/1467-9817.12259

Ma, G. J., Pollatsek, A., Li, Y. G., & Li, X. S. (2017). Chinese readers can perceive a word even when It's composed of noncontiguous characters. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition, 43*(1), 158–166. doi:10.1037/xlm0000298

Perea, M., & Acha, J. (2009). Space information is important for reading. *Vision Research. 49*(15), 1994–2000. doi: 10.1016/j.visres.2009.05.009

Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 62*(8), 1457–1506. doi:10.1080/17470210902816461

Rayner, K., Fischer, M. H., & Pollatsek, A. (1998). Unspaced text interferes with both word identification and eye movement control. *Vision Research, 38*(8), 1129–1144. doi:10.1016/s0042-6989(97)00274-5

Rayner, K., Liversedge, S. P., & White, S. J. (2006). Eye movements when reading disappearing text: the importance of the word to the right of fixation. *Vision Research, 46*(3), 310–323. doi:10.1016/j.visres.2005.06.018

Schotter, E. R., Angele, B., & Rayner, K. (2012). Parafoveal processing in reading. *Attention, Perception & Psychophysics, 74*(1), 5–35. doi: 10.3758/s13414-011-0219-2

Shen., D. L., Bai., X. J., Zang., C. L., Yan., G. L., Feng., B. C., & Fan., X. H. (2010). Effect of word segmentation on beginners' reading: evidence from eye movements. *Acta Psychologica Sinica, 42*(2), 159–172.

[沈德立，白学军，臧传丽，闫国利，冯本才，范晓红. (2010). 词切分对初学者句子阅读影响的眼动研究. *心理学报, 42*(2): 159–172.]

Shen, D. L., Liversedge, S., Tian, J., Zang, C. L., Cui, L., Bai, X. J., & Rayner, K. (2012). Eye movements of second language learners when reading spaced and unspaced Chinese Text. *Journal of Experimental Psychology-Applied, 18*(2), 192–202. doi:10.1037/a0027485

Sheridan, H., Rayner, K., & Reingold, E. M. (2013). Unsegmented text delays word identification: evidence from a survival analysis of fixation durations. *Visual Cognition, 21*(1), 38–60. doi:10.1080/13506285.2013.767296

Snellings, P., van der Leij, A., de Jong, P. F., & Blok, H. (2009). Enhancing the reading fluency and comprehension of children With reading dsabilities in an orthographically transparent language. *Journal of Learning Disabilities, 42*(4), 291–305. doi:10.1177/0022219408331038

Wang, H. F. (2015). To space or not space? Interword spacing effects on Chinese children's reading materials. *Ergonomics, 58*(12), 1947–1959. doi:10.1080/00140139.2015.1047802

Wang, Y. S., Zhao, B. J., Chen, M. J., Li, X., Yan, G. L., & Bai, X. J. (2018). Influence of the frequency of fixated words and the number of strokes of parafoveal words on saccadic target selection in Chinese reading. *Acta Psychologica Sinica, 50*(12), 1336–1345.

[王永胜, 赵冰洁, 陈茗静, 李馨, 闫国利, 白学军. (2018). 中央凹加工负荷与副中央凹信息在汉语阅读眼跳目标选择中的作用.*心理学报, 50*(12): 1336–1345.]

Yan, G. L., Zhang, L. L., Bian Q., & Xu, Z. J. (2012). Effect of word segmentation on good readers and poor readers: evidence from eye movements. *Psychological Exploration, 32*(6), 525–530.

[闫国利,张兰兰,卞迁,徐子珺.词切分对语文学优生与学困生阅读影响的眼动研究.(2012).*心理学探新,32*(6):525-530.]

Yan, M., Kliegl, R., Richter, E. M., Nuthmann, A., & Shu, H. (2010). Fexible saccade-target selection in Chinese reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 63*(4), 705–725. doi:10.1080/17470210903114858

Yan, M., Pan, J. E., Chang, W. S., & Kliegl, R. (2019). Read sideways or not: vertical saccade advantage in sentence reading. *Reading and Writing, 32*(8), 1911–1926. doi:10.1007/s11145-018-9930-x

Yang, S. N. (2006). An oculomotor-based model of eye movements in reading: the competition/interaction model. *Cognitive Systems Research, 7*(1), 56–69. doi:10.1016/j.cogsys.2005.07.005

Yin, Y. L., & Zhang, Q. F. (2021). Chinese characters are read using not only visual but also writing motor information. *Psychophysiology, 58*(1). doi:10.1111/psyp.13696

Zang, C. L., Fu, Y., Bai, X. J., Yan, G. L., & Liversedge, S. P. (2018). Investigating word length effects in Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 44*(12), 1831–1841. doi: 10.1037/xhp0000589

Zang, C. L., Liang, F. F., Bai, X. J., Yan, G. L., & Liversedge, S. P. (2013). Interword spacing and landing position effects during Chinese reading in children and adults. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance, 39*(3), 720–734. doi:10.1037/a0030097

Zang, C. L., Wang, Y. S. , Bai, X. J., Yan, G. L., Drieghe, D., & Liversedge, S. P. (2016). The use of probabilistic lexicality cues for word segmentation in Chinese reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 69*(3), 548–560. doi:10.1080/17470218.2015.1061030.

Zhou, W., Ye, W.W., & Yan, M. (2020). Alternating-color words facilitate reading and eye movements among second-language learners of Chinese. *Applied Psycholinguistics, 41*(3), 685–699. doi:10.1017/s0142716420000211

The Role of Text Familiarity in Chinese Word Segmentation and Chinese Vocabulary Recognition

CHEN Mingjing, WANG Yongsheng, ZHAO Bingjie, LI Xin, BAI Xuejun

(Key Research Base of Humanities and Social Sciences of the Ministry of Education, Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University; Faculty of Psychology, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

Abstract

In alphabetic writing systems (such as English), the spaces between words mark the word boundaries, and the basic unit of reading is distinguished during visual-level processing. The visual-level information of word boundaries facilitates reading. Chinese is an ideographic language whose text contains no intrinsic inter-word spaces as the marker of word boundaries. Previous studies have shown that the basic processing unit of Chinese reading is also a word. However, findings remain inconsistent regarding whether inserting spaces between words in Chinese text promotes reading performance. Researchers have proposed that there may be a trade-off between text familiarity and the facilitation effect of inter-word spaces.

The purpose of Experiment 1 was to examine whether there was trade-off between text familiarity and facilitation of inter-word spaces. Before reading training, Experiment 1 was conducted that 40 native Chinese undergraduates read Chinese sentences from right to left on four text conditions. The results showed faster reading speed and shorter total reading time for the inter-word spaced text. Based on this finding, 40 native Chinese undergraduates who did not participate in the first stage read Chinese sentences from right to left on four text conditions after ten-day reading training, then, the eye tracking data of participants during Chinese reading were recorded in Experiment 1. Experiment 1 verified there was trade-off between text familiarity and inter-word spaces' facilitation in Chinese, then, the Experiment 2 examined the role of text familiarity and word frequency in vocabulary recognition. Forty students read Chinese sentences under familiar (from left to right) and unfamiliar (from right to left) texts. The target words were high frequency or low frequency. Using Eyelink 1000, the eye tracking data of 32 undergraduates

during Chinese reading were recorded in Experiment 2. Second, right-to-left reading training was conducted over 10 days to improve right-to-left reading experience. Then, the eye tracking data of participants during Chinese reading were recorded in Experiment 2.

The results in Experiment 1 showed that: (1) Before training, there was significant different between the total reading time and reading speed under unfamiliarity text, which were shorter reading time and faster reading speed in the inter-word spaced text. (2) After training, there was no significant difference between the total reading time and reading speed in the inter-word spaced text and unspaced text,which suggests that the facilitation effect of inter-word spaces in Chinese reading changed smaller. The results in Experiment 2 showed that: (1) The effect of text familiarity was significant. The fixated time was shorter, and the skipping rate was higher under the familiar text. (2) The main effect of word frequency was significant. Low-frequency words had longer fixation times and a higher skipping rate. (3) Right-to-left training improves reading performance from right to left. (4) The early indexes showed a significant interaction between text familiarity and word frequency. A word-frequency effect occurred under the familiar but not under the unfamiliar texts. The late indexes showed that the interaction between text familiarity and word-frequency was not significant.

Results in experiment 1 suggested that there was trade-off between text familiarity and the facilitation of inter-word spaces, which supported the assumption in previous studies. In addition, results in experiment 2 showed the text familiarity may affect the early processing in vocabulary recognition. Based on the Chinese integrated reading model, the word segmentation and vocabulary recognition are unified processing. The E-Z reader model holds the opposite point. Combine the experiment 1 and experiment 2, research showed that word segmentation and vocabulary recognition may be sequential processing in Chinese reading, which provided empirical evidence for Chinese E-Z reader model rather than Chinese integrated model.

Key words Text Familiarity, Inter-word Spaces, Word Frequency, Word Segmentation, Vocabulary Recognition.

附录：实验 1 和实验 2 的阅读训练材料举例

手到剪心小 1

怎可已自到剪，下放快，哎宗祖小：了坏吓奶奶的他顾照把可，刀剪起拿次一第子孩

。刀剪了下放地乖乖子孩？了得么

准正，刀剪和笔画、纸来找地奋兴子孩，后之家回，工手了教师老，了园儿幼上子孩

要你，险危太，刀剪么什玩子孩小：刀剪的中手子孩了过夺把一，了现出妈妈，时纸剪备

一。来起多课工手，了学上子孩。妈妈了给交刀剪将地悻悻子孩。剪你帮妈妈，么什做

见看爸爸，刀剪起拿刚子孩。妈妈给送，品艺工手个一做手动，业作庭家了置布师老，次

。刀剪了下放，手的己自看看又，刀剪的晃晃亮看看子孩。手到剪心小，子孩嘱叮，了

妈”？儿哪在刀剪“妈妈问。了剪头线把刀剪用备准，头线个一有上服衣，现发子孩

是咬，头线咬地力吃头低，下一了豫犹子孩？了以可就不掉咬牙用，么什干刀剪要，说妈

剪起拿刚，下一剪修角个四将刀剪用想，皮书好包子孩 。子样成不得咬角衣将也，了掉咬

指手将心小，刀剪用要不万千，说妈妈，了长甲指的子孩。手到剪心小，呼惊就妈妈，刀

，撕？呢它开打么怎，是可，食零的致精装包袋一着拿，中手的子孩。钳甲指用，了掉剪

主了有于终他，后最。了来出流快都泪眼得急子孩……掉不拽，拽；开不咬，咬；动不撕

……了开剪就剪一轻轻，刀剪起拿妈妈。开剪他帮妈妈让，刀剪和袋食零着拿，意

近有然竟班全，工手做们子孩教她，次一。事件一起讲我跟，友朋的师老当位一的我

用不也，看难分十，扭扭歪歪得撕纸将，撕手用愿宁们他，刀剪用敢不或会不子孩的数半

没，了大么这能可么怎。过用没，答回子孩？吗刀剪过用没里家在道难，们他问她。刀剪

敢不但用会个一。险危说，刀剪用让不妈妈爸爸，答回子孩。们他问地异诧她？刀剪过用

这都次每，手到剪心小，说我对会就人大，刀剪起拿一我要只次每，说充补子孩的刀剪用

好友朋？办么怎候时的刀剪用要需们你果如那。了刀剪用不也再就性索我是于，烦很，样

。呗人大找？单简不还这，了笑们生学。生学问地奇

安意注何如他知告并，用么怎他教地心耐是？的理处么怎是你，候时的刀剪起拿子孩

起拿子孩在次每会不会你？忙帮去己自，刀剪用使子孩让绝拒而，险危免避了为是还，全

的意善句一是来本这，手到剪心小？”手到剪心小“他嘱叮再一地心放不都，候时的刀剪

不，查调小个一过做人有。力压和担负的形无种一了成就，说来子孩对，了多说但，醒提

都，候时的刀剪起拿次每們他在，子孩的刀剪用使愿不或，刀剪用使敢不或，刀剪用使会

孩的有；了刀剪用不性索，烦其胜不子孩的有，是于。咛叮句这的辈长他其或母父到听会

刀剪碰敢不也再是更此从，手了到剪的真心小不，子孩的有还；了刀剪用不也，了怕害子

大，巴泥玩子孩。跤摔心小，子孩咛叮人大，跑奔子孩。上刀剪在出仅仅不然当题问。了
，碗洗子孩。来下摔心小，子孩训教人大，高攀或树爬子孩。服衣脏弄心小，子孩斥呵人
。了走拐人被心小，子孩唬吓人大，门出人个一子孩。碟碗了碎打心小，说地心放不人大
不会人大，西东么什个一装组图试子孩。去回不装心小，子孩骂人大，具玩的他散拆子孩
……么什腾折瞎糟八七乱，屑

是你实其。任责的已自尽在你为以你，好子孩为是都这为以你，子孩护呵是你为以你
把这用他了止阻你但，误错和险危了离远他让你来起看，”刀剪“把那的上手子孩了走拿
最新最出剪修么怎还他，力能造创和手动的他了缚束你，手的巧灵该本他了住捆你，刀剪
的他有还，刀剪把一是单不的起拿他。候时的刀剪起拿子孩在，手放？呢活生和案图的美
。来未

？刀剪用敢不学同少多概大上班现发友朋师老位一的“我“：一题问

学同部全:A

学同些一:B

学同数半近:C

？刀剪用敢不学同数半近么什为：二题问

刀剪用欢喜不就身本们他:A

让不长家:B

撕惯习更们他:C

。况情的样这过到遇曾都，学同的刀剪用使愿不、敢不、会不，查调过做人有：三题问

过害伤刀剪被:A

嘱叮的辈长或母父到听会都，时刀剪起拿次每:B

人他过害伤刀剪用:C

来未的他有还，刀剪把一是单不的起拿他。候时的刀剪起拿子孩在“说么什为：四题问

力造创的子孩碍阻会能可有，误错和险危离远子孩让的度过为因:A

康健体身的来未他响影会这，已自害伤刀剪用子孩:B

能可的来未拓开有具就，气勇的刀剪用使有具子孩:C

______？吗章文篇这读阅次一第是你：五题问

是不.B　是.A

_______？吗懂读易容章文篇这为认你：六题问

易容不常非.D　易容不.C　易容.B　易容常非.A

________？吗容内的章文篇这欢喜你：七题问

欢喜不常非.D　欢喜不.C　欢喜.B　欢喜常非.A